

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 09-075839  
(43) Date of publication of application : 25.03.1997

---

(51) Int. Cl. B05D 3/00  
B05B 5/04  
B05D 1/04

---

(21) Application number : 07-233002 (71) Applicant : TOYOTA MOTOR CORP  
(22) Date of filing : 11.09.1995 (72) Inventor : TSUCHIDA MASAAKI

---

## (54) ESTIMATION METHOD OF THICKNESS OF COATING FILM IN COATING BY BELL TYPE COATING APPARATUS

### (57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To calculate the thickness of a coating film at high precision by obtaining a multi-regression expression with an objective variable of the thickness of a coating film while using the velocity of a coating gun, the distance from an object to be coated, the quantity of a sprayed coating, etc., as explanatory variables, and estimating the thickness of the coating film by calculation based on the multi-regression expression.

SOLUTION: In formation process of a multi-regression expression to estimate the thickness of a coating film by a bell type coating apparatus; six variables for the gun velocity, the gun distance, the applied voltage, the sprayed quantity, the shaping air, the revolution frequency of a bell are used as variable terms and a regression expression to calculate the thickness of a coating film by multi-regression analysis is calculated. Then, the obtained regression expression is used as a calculation algorithm for the thickness of the coating film and saved in a directory in a simulator (a computer). To carry out simulation, input of the operation conditions and the coating conditions is carried out and at the same time the gun velocity, the gun distance, etc., are calculated and corrected. Next, calculation is carried out to estimate the thickness value of the coating film at every divided point of respective faces while using the six variables as the variable terms and prescribed constants.

---

### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.04.1999

[Date of sending the examiner's decision 28.05.2002  
of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-75839

(43)公開日 平成9年(1997)3月25日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	府内整理番号	F I	技術表示箇所
B 05 D 3/00			B 05 D 3/00	F
B 05 B 5/04			B 05 B 5/04	D
B 05 D 1/04			B 05 D 1/04	A

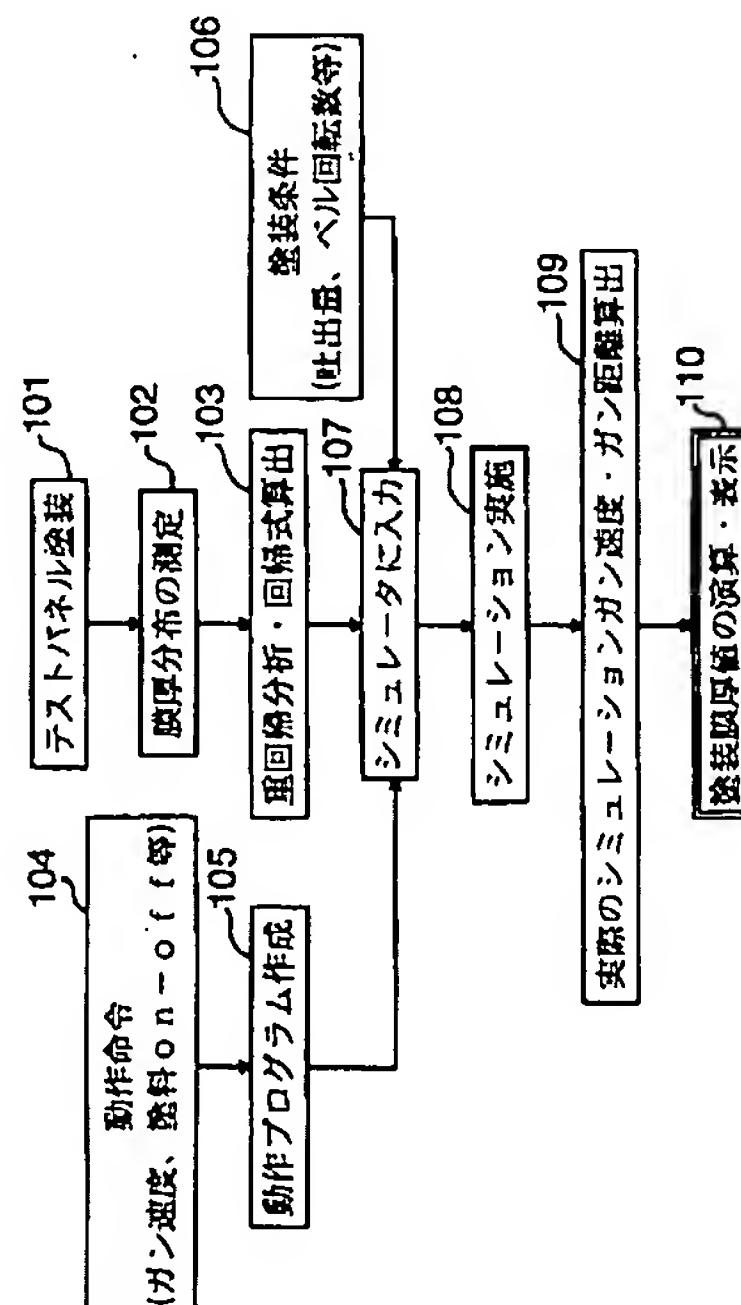
審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 5 頁)

(21)出願番号	特願平7-233002	(71)出願人	000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地
(22)出願日	平成7年(1995)9月11日	(72)発明者	土田 正昭 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
		(74)代理人	弁理士 田渕 経雄

(54)【発明の名称】 ベル型塗装機による塗装における塗装膜厚の推定方法

(57)【要約】

【課題】 高精度の塗装膜厚推定方法の提供。  
【解決手段】 ガン速度、ガン距離、印加電圧、吐出量、シェーピングエア圧、ベルヘッド回転数の6変数を説明変数とし塗装膜厚を目的変数とした重回帰分析によりシミュレーションを実行して塗装膜厚を推定する方法。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 塗装ガン速度、塗装ガンと被塗装物との距離、印加電圧、塗料の吐出量、シェーピングエアー圧、ベルヘッド回転数の6変数を説明変数とし、塗装膜厚を目的変数とした重回帰式を作成し、塗装のシミュレーションを実行し前記重回帰式を用いてシミュレーションの場合の塗装膜厚を演算し推定する、ことを特徴とするベル型塗装機による塗装における塗装膜厚の推定方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ベル型塗装機による塗装における塗装膜厚の推定方法に関し、塗装ロボットに対するティーチング等をコンピューターによるシミュレーション手法を用いて行うに際し、被塗装物（車両）の塗装膜厚を演算する方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来の方法は、一定の塗装条件、例えば吐出量( $\text{cc/min}$ )、ガン速度( $\text{mm/sec}$ )、被塗装物までのガン距離( $\text{mm}$ )等で実際に塗装したバルの膜厚分布を測定して、塗装条件と膜厚分布をデータベースとしてコンピューターに入力して、シミュレーション時に前記データベースをもとに塗装膜厚を演算して表示させる方法を取っている。具体的な例を、図5を用いて説明すると、つぎの通りである。ガン距離 $d_0$ で一定の塗装条件(吐出量、ガン速度等)のもとで塗装を行い、膜厚分布を測定して、シミュレータにデータベースとして登録する。ただし、図5の各記号の意味はつぎの通りとする。

$d_0$ ：データベースとして登録した基準ガン距離( $\text{m}$ )

$d_x$ ：シミュレーション時のガン距離( $\text{mm}$ )

$\mu_0$ ：データベースとして登録した塗装膜厚( $\mu\text{m}$ )

$\mu_x$ ：シミュレーション時の膜厚演算値( $\mu\text{m}$ )

ついで、シミュレーションを行うときに、ガンの被塗装物に対する相対速度、被塗装物までの実際のガン距離等を考慮して補正を行い膜厚値を算出する。

(例1) シミュレーションガン距離が基準ガン距離にたいして変化した場合

2

$$*\mu_x = (d_0/d_x) \cdot \mu_0$$

(例2) シミュレーションガン距離・速度が基準ガン距離・速度にたいして変化した場合

$$\mu_x = (d_0/d_x) \cdot \mu_0 \cdot (v_0/v_x)$$

$v_0$ ：データベースとして登録した基準ガン速度( $\text{mm/sec}$ )

$v_x$ ：シミュレーション時のガン速度( $\text{mm/sec}$ )

[0003]

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来技術には

10 つきの問題がある。

① 従来の膜厚演算方法では、塗装パターンがガンの塗料吐出口から円錐状に飛散する場合には有効であるが、塗装パターンが円錐以外の場合、たとえば釣鐘状(図6)等の場合は適用できない。通常、ロボットシミュレーションシステムを適用している対象ロボットの塗装ガンの塗装パターンは円錐状でなく、釣鐘状に近いため、従来の方法では膜厚演算が不可能である。さらに詳しくは、シミュレーション時のガン距離が基準ガン距離にたいして変化した時に、図6の斜線部(a部、b部)の膜厚演算値が実際の膜厚値と異なる。

a部：ベル塗装機では塗膜が形成されるにもかかわらず、従来の演算方法では、塗膜が形成されない演算結果となる。

b部：ベル塗装機では塗膜が形成されないにもかかわらず、従来の演算方法では、塗膜が形成される演算結果となる。

② ベル塗装機は電圧をかけて、塗料に印加させ静電力をを利用して塗装するため印加電圧の変化により膜厚分布は変化するが、従来の方法では対応できない。

30 ③ 従来の方法では、ある塗色に対してシミュレーション途中で塗装条件(吐出量、ベル回転数、シェーピングエアー圧等)が変化する場合、各変動条件での基準膜厚分布を実験により測定してデータベースとして登録しなければならず、非常に煩雑かつ多大な工数を要する。たとえば下の表1の場合を例によると96回( $= 2 \times 1 \times 2 \times 4 \times 3 \times 2$ )もの塗装実験と膜厚測定が必要となる。

[0004]

\* [表1]

塗装条件設定表

塗装条件	設定条件(1つのプログラム中)			
ガン速度	A	B		
ガン距離	A			
電圧	A	B		
吐出量	A	B	C	D
シェーピングエアー圧	A	B	C	
ベル回転数	A	B		

【0005】本発明の目的は、塗装パターンの形状に関係なく、どのようなパターン形状にも対応でき、印加電圧にも対応でき、登録データベースも少なくて済む高精度の塗装膜厚演算、推定方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の方法はつきの通りである。塗装ガン速度、塗装ガンと被塗装物との距離、印加電圧、塗料の吐出量、シェーピングエアー圧、ベルヘッド回転数の6変数を説明変数とし、塗装膜厚を目的変数とした重回帰式を作成し、塗装のシミュレーションを実行し前記重回帰式を用いてシミュレーションの場合の塗装膜厚を演算し推定する、ベル型塗装機による塗装における塗装膜厚の推定方法。

【0007】上記本発明方法では、塗装膜厚推定に重回帰分析が用いられ、塗装パターンに影響を与えるガン距離、印加電圧、シェーピングエアー圧が説明変数に含まれているので、塗装パターンが変化しても自ずとそれに対応できる。また、印加電圧が説明変数に含まれているので、印加電圧の変化による膜厚分布にも対応できる。また、重回帰式の回帰係数の決定のための実験では、回帰係数がかかる説明変数を変化させ、他の説明変数を固定して行うので、実験回数は従来法に比べて著しく少なくて済む。また、いったん回帰係数が決定されると、実験の上限水準値、下限水準値以内であれば、無限の点において塗装膜厚を高精度に推定することが可能になる。これに対して、従来法では推定可能条件は基準膜厚を実験した条件に限られる。

【0008】

【発明の実施の形態】図1に示すように、本発明実施例のベル塗装機による塗装膜厚の推定方法は、重回帰式の作成工程と、シミュレーションの実行、塗装膜厚の演算、推定工程と、からなる。重回帰式の作成工程は図1のステップ101～103からなり、シミュレーションの実行、塗装膜厚の演算、推定工程はステップ104～110からなる。

【0009】重回帰式の作成工程では、塗装膜厚に影響を及ぼす塗装条件の変動要因としてガン速度X(2)、ガン距離X(3)、印加電圧X(4)、吐出量X

(5)、シェーピングエアー圧X(6)、ベル回転数X(7)の6変数を変数項として重回帰分析により、塗装膜厚X(1)を算出する回帰式を求める。すなわち、説明変数と目的変数はつきの通りである。

X(1)：目的変数 膜厚(μm)  
 X(2)：説明変数 ガン速度(mm/sec)  
 X(3)：説明変数 ガン距離(mm)  
 X(4)：説明変数 印加電圧(kV)  
 X(5)：説明変数 吐出量(cc/min)  
 10 X(6)：説明変数 シェーピングエアー圧(kg/cm<sup>2</sup>)  
 X(7)：説明変数 ベル(回転霧化頭)回転数(rpm)

【0010】各変動要因の実験水準(ステップ101)は、3～4水準として実験データを取る(ステップ102)。実際に実験(ステップ101)により得た膜厚分布のデータ(ステップ102)から重回帰分析で求めた膜厚算出式(ステップ103)は下記の通りである。

$$\text{膜厚 } X(1) = L \cdot (K_1 \cdot \log e X(2) + K_2 \cdot X(7) + K_3 \cdot X(3) + K_4 \cdot X(4) + K_5 \cdot X(5) + K_6 \cdot X(6) + T_1) / 10000 + (K_7 \cdot \log e X(2) + K_8 \cdot X(7) + K_9 \cdot X(3) + K_{10} \cdot X(5) + K_{11} \cdot X(4) + K_{12} \cdot X(6) + T_2) / 10000$$

X(1)：膜厚(μm)  
 L：パターン中心からの距離(cm)(図2参照)

K1～K12：回帰係数

T1～T2：定数

塗装実験は、たとえば表2の如く(1つの変数を変化させるときには他の変数は固定)に行われ、この場合の実験回数は表2の如く13回で済み、しかも精度の高い結果が得られる。これに対し、従来法では実験回数は3<sup>6</sup>=729回となる。しかも、従来の方法では、塗装条件の設定は基準膜厚を実験・測定した条件に限られていたが、本発明の方法では、実験の上限水準値、下限水準値内であれば無制限に条件設定が可能となる。

【0011】

【表2】

## 塗装実験の実施例

塗装条件	実験水準		
	A	B	C
ガン速度	A	B	C
ガン距離	A	B	C
電圧	A	B	C
吐出量	A	B	C
シェーピングエアー圧	A	B	C
ベル回転数	A	B	C

	実験 1	実験 2	実験 3	実験 4	実験 5	実験 6	実験 7	実験 8	実験 9	実験 10	実験 11	実験 12	実験 13
ガン速度	A	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ガン距離	A	A	A	B	C	A	A	A	A	A	A	A	A
電圧	A	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A	A	A
吐出量	A	A	A	A	A	A	A	B	C	A	A	A	A
シェーピングエアー圧	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C	A	A
ベル回転数	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	C

【0012】実験結果の一例によれば上記K1～K1 \* \* 2、T1～T2の値は、

$$\begin{aligned}
 K_1 &= -521.1230 & K_2 &= -0.0152 & K_3 &= -2.7 \\
 K_4 &= 3.4924 & K_5 &= 1.4000 & K_6 &= 40.0000 \\
 K_7 &= -33133.0000 & K_8 &= -0.5189 & K_9 &= -76.7000 \\
 K_{10} &= 51.1000 & K_{11} &= -43.5641 & K_{12} &= 470.0000 \\
 T_1 &= 4900.5700 & T_2 &= 258502.0000
 \end{aligned}$$

とされる。上記で求めた回帰式を塗装膜厚計算アルゴリズムとしてシミュレータ（コンピューター）に登録する（ステップ107）。シミュレータは複数の回帰式を登録でき、かつシミュレーション実施中に随時指定のアルゴリズムにて、膜厚計算を実行するようソフトを組んである。

【0013】ついで、シミュレーションを実行するにあたり、動作条件（ガン速度、塗料オンオフ等）および塗装条件（吐出量、ベルヘッド回転数等）をシミュレータに入力する（ステップ104、105およびステップ106）。ステップ108でシミュレーションを実行する。その際、ステップ109にてガン速度、ガン距離等を演算、補正する。さらに詳しくは、回帰式のバターン中心からの距離L（cm）は、被塗装物（車両表面）と塗装バターンとの交点を指定ピッチで測定して得る（図3）。ガン速度X(2) (mm/sec) はティーチングプログラム作成時に動作命令として入力する。実際の速度は指定速度と異なる場合があるので、被塗装物との相対速度を補正する。補正方法は、塗装バターンが被塗装物の前記指定ピッチで分割された各ポイント間の移動距離と時間により、各ポイントでそれぞれ補正速度を得る。

【0014】ガン距離X(3) (mm) は図3のバター

ン中心と被塗装物との距離で、プログラム作成時に入力する。またシミュレーション実行時に実際のガン距離を求める。図4でガン距離の指定をティーチングポイントp1とp2に入れると、例えば被塗装面が湾曲していると、p1～p2間の実際のガン距離は変わってくる。そこで、各面分割ポイントでガン距離の補正を行う。電圧X(4) (kv)、吐出量X(5) (cc/m<sup>2</sup>)、シェーピングエアーX(6) (kg/c m<sup>2</sup>)、ベル回転数X(7) (rpm)について、プログラム作成時に各ティーチングポイントに任意に登録できるようになっている。膜厚シミュレーション実行時には、前述のL、X(2)～X(7)、係数K1～K12および定数T1～T2により、各面分割ポイントで演算し膜厚値X(1)を演算、推定し（ステップ110）、各分割ポイント間は两点の膜厚値より補正して算出する。

【0015】

【発明の効果】本発明によれば、重回帰手法によるため予測値と実測値の検証が可能で、極めて高精度な膜厚シミュレーションが可能となった。また、説明変数に塗装バターンに影響をもつ変数を含んだ重回帰式を用いて塗装膜厚を推定するので、塗装バターンが如何なる形状（たとえば、釣鐘状）をとってもそれに対応できる。ま

た、重回帰式の説明変数に印加電圧を含むので、印加電圧の変化にも対応できる。また、重回帰式によるため塗装実験回数を少なくすることができ、かつ塗装実験点以外の点での塗装膜厚も高精度に推定できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明実施例の方法における塗装膜厚演算フロー図である。

【図2】本発明実施例の方法における回帰式（予測値）と測定値との関係図である。

【図3】本発明実施例の方法における膜厚計算ポイントを示す斜視図である。

【図4】本発明実施例の方法におけるガン距離補正図である。

\*ある。

【図5】従来の膜厚演算の幾何学図である。

【図6】ベル塗装機の塗装パターンと従来法で演算不可能領域を示す図である。

【符号の説明】

X (1) 目的変数 膜厚

X (2) 説明変数 ガン速度

X (3) 説明変数 ガン距離

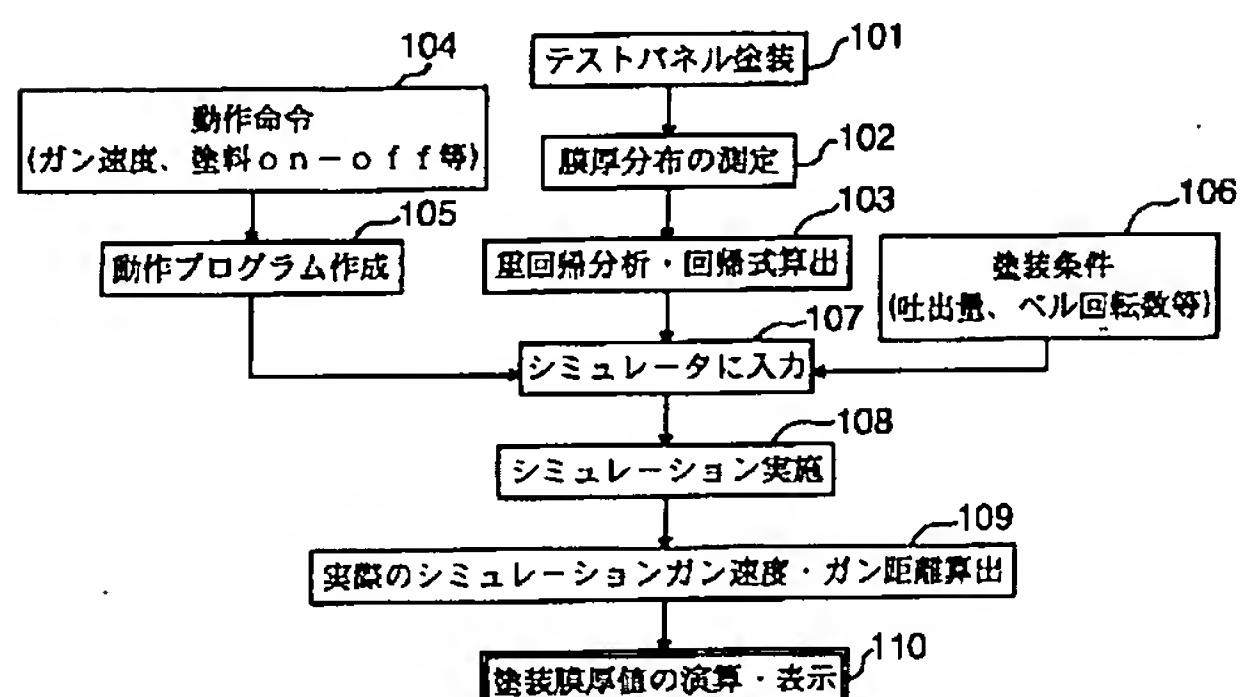
X (4) 説明変数 印加電圧

X (5) 説明変数 吐出量

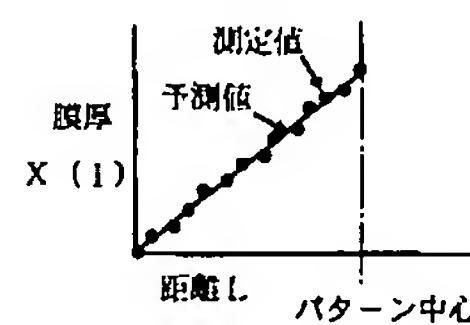
X (6) 説明変数 シーピングエアー圧

X (7) 説明変数 ベル回転数

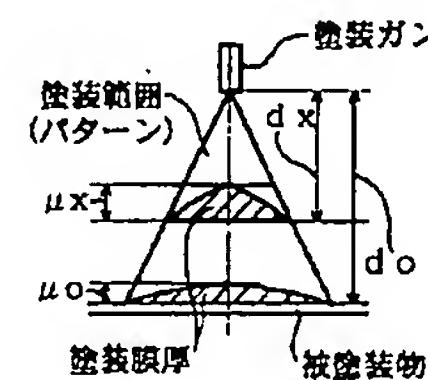
【図1】



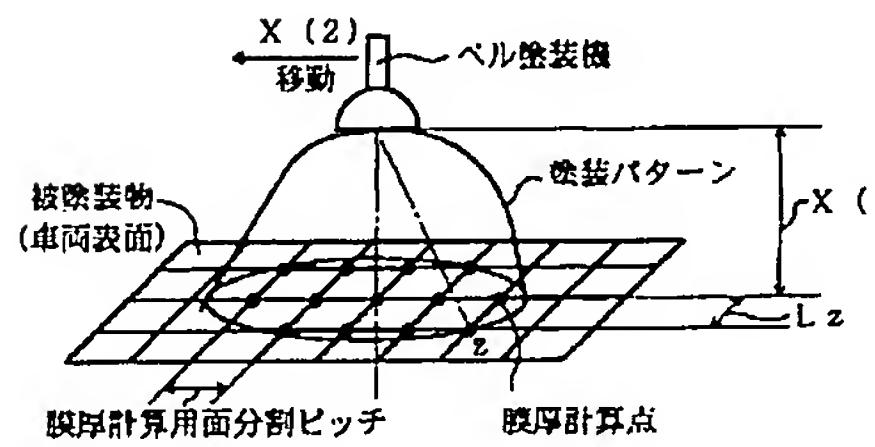
【図2】



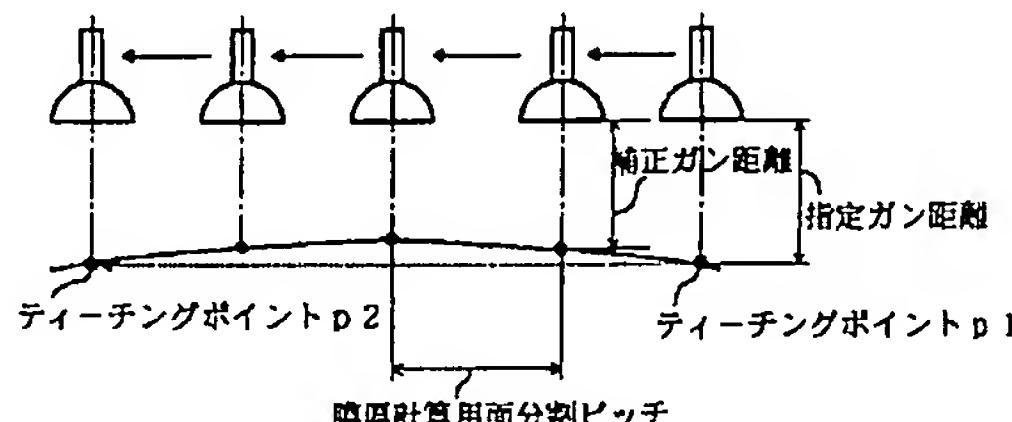
【図5】



【図3】



【図4】



【図6】

